

**А. С. Скоробогатов\*, А. М. Белорусец**

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

\*a.s.skorobogatov@urfu.ru

Научный руководитель — доц., д-р техн. наук В. П. Кузнецов

## **НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ ШХ15 ВЫГЛАЖИВАНИЕМ КЛИНОВЫМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ**

В работе рассмотрены вопросы влияния нормальной нагрузки при выглаживании клиновым цилиндрическим инструментом на упрочнение поверхности стали ШХ15 по критериям микротвердости и толщины наноструктурированного слоя. Установлено, что выглаживание с нормальной силой 200 и 250 Н обеспечивает формирование наноструктурированного слоя толщиной 4,3–5,5 мкм с максимальной микротвердостью 1120–1170 HV<sub>0,05</sub>.

*Ключевые слова:* наноструктура, поверхностный слой, упрочнение, выглаживание, клиновой цилиндрический инструмент, подшипниковая сталь.

**A. S. Skorobogatov, A. M. Belorusets**

## **NANOSTRUCTURING OF SURFACE LAYER OF 1.3505 STEEL BY WEDGE CYLINDRICAL TOOL**

This paper discusses the issues of normal load during burnishing by a wedge cylindrical tool that influences the hardening of the 1.3505 steel surface according to the criteria of microhardness and thickness of nanostructuring layer. It has been established that burnishing with a normal force of 200 and 250 N provides formation of a nanostructured layer with a 4,3–5,5 μm thickness and a maximum micro-hardness of 1120–1170 HV<sub>0,05</sub>.

*Key words:* nanostructure, surface layer, hardening, wedge cylindrical tool, bearing steel.

**И**звестна перспективная технология формирования наноструктурированного поверхностного слоя конструкционных сталей при скольжении сферического индентора [1–2]. Однако проведенные исследования показали, что, при использовании сферического индентора, в его задней части относительно направления скольжения происходит образование высокого уровня растягивающих напряжений, нега-

тивно влияющих на качество формируемой поверхности [2]. Подобный эффект возникает из-за наличия заднего угла индентора.

Известно, что в случае применения клиновидного индентора данный эффект практически исчезает [3–4]. Таким образом, актуальным является развитие технологии формирования наноструктурированной поверхности конструкционных сталей при скольжении клиновидного индентора.

В рамках данной работы предложено выглаживание с использованием цилиндрического индентора, наклоненного под углом  $2^\circ$  к поверхности обрабатываемой детали (рис. 1). В результате нормального нагружения с силой  $F_n$  происходит вдавливание индентора на глубину  $h_v$ . Образованное при этом пятно контакта имеет параболическую форму с основанием шириной  $l_k$ .

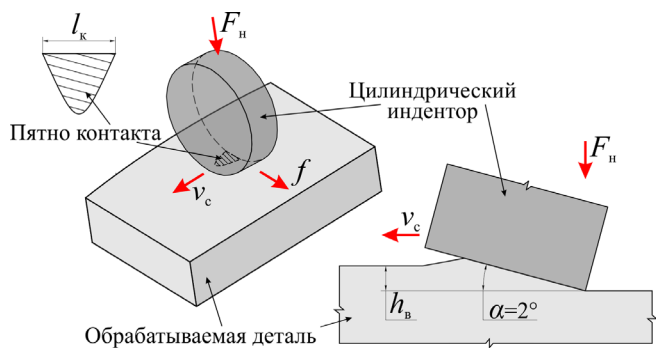


Рис. 1. Схема выглаживания плоской детали клиновым цилиндрическим инструментом

Для исследования наноструктурирования поверхности клиновым цилиндрическим индентором был разработан специальный инструмент, использующий в качестве рабочего элемента сменную твердосплавную пластину SECO RNMN090300S-02020 из нитрида бора CBN500.

Целью работы является установление влияния нормальной нагрузки на формирование структуры и микротвердость поверхностного слоя подшипниковой стали ШХ15 при выглаживании клиновым цилиндрическим инструментом.

Экспериментальное исследование выполнено на образцах типа «диск» из стали ШХ15 диаметром 90 мм и толщиной 12 мм. Образцы подвергались термической обработке, закалке при  $830^\circ\text{C}$  и отпуску при  $300^\circ\text{C}$ , после чего их твердость составляла 56–57 HRC. Для обеспечения плоскостности образца, перед началом выглаживания было выполнено чистовое точение при скорости 80 м/мин и подаче 0,08 мм/об. Глу-

бина резания составляла 0,2 мм. Среднее арифметическое отклонение профиля поверхности после токарной обработки составляло  $Ra = 0,8$  мкм.

На образце было выполнено выглаживание кольцевых дорожек шириной 15 мм, на каждой из которых назначена различная нормальная сила: 100, 150, 200 и 250 Н. Скорость скольжения установлена на уровне 25 м/мин, подача — 0,04 мм/об. Выглаживание проводилось при подаче смазочно-охлаждающей технологической среды FUCHS в зону обработки.

Для подготовки поперечных шлифов, с обработанных дорожек на электроэрозионном станке AgieCut Sprint 20 были вырезаны образцы размером 20 мм на 10 мм. Исследуемую поверхность шлифовали и полировали с использованием алмазной суспензии.

Микроструктура поверхностного слоя была исследована на растровом электронном микроскопе Zeiss CrossBeam AURIGA. Анализ полученных снимков показал, что, при выглаживании клиновым цилиндрическим инструментом, обеспечивается формирование наноструктурированной поверхности (рис. 2). При нормальной силе 100 и 150 Н, толщина наноструктурированного слоя составляет 1,2–1,6 мкм. Повышение нормальной силы до 200 и 250 Н приводит к увеличению толщины слоя до 4,3 и 5,5 мкм соответственно.

Микродюрометрия по глубине поверхностного слоя проведена на микротвердомере Leica VMHT по восстановленному отпечатку при вдавливании пирамидки Виккерса с нагрузкой 0,05 кгс. Измерения на глубине от поверхности 5–50 мкм выполнены с шагом 5 мкм, на 50–100 мкм — с ша-

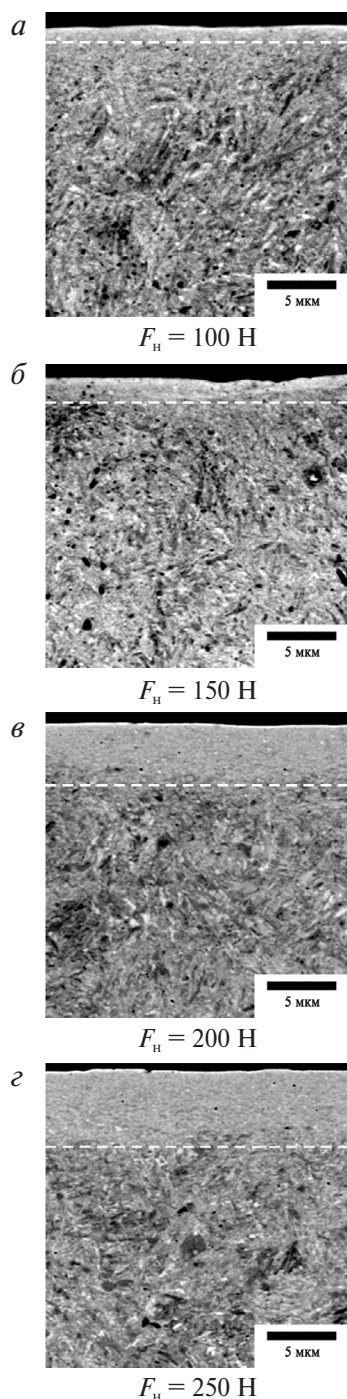


Рис. 2. Микроструктура поверхностного слоя после выглаживания при различной нормальной силе

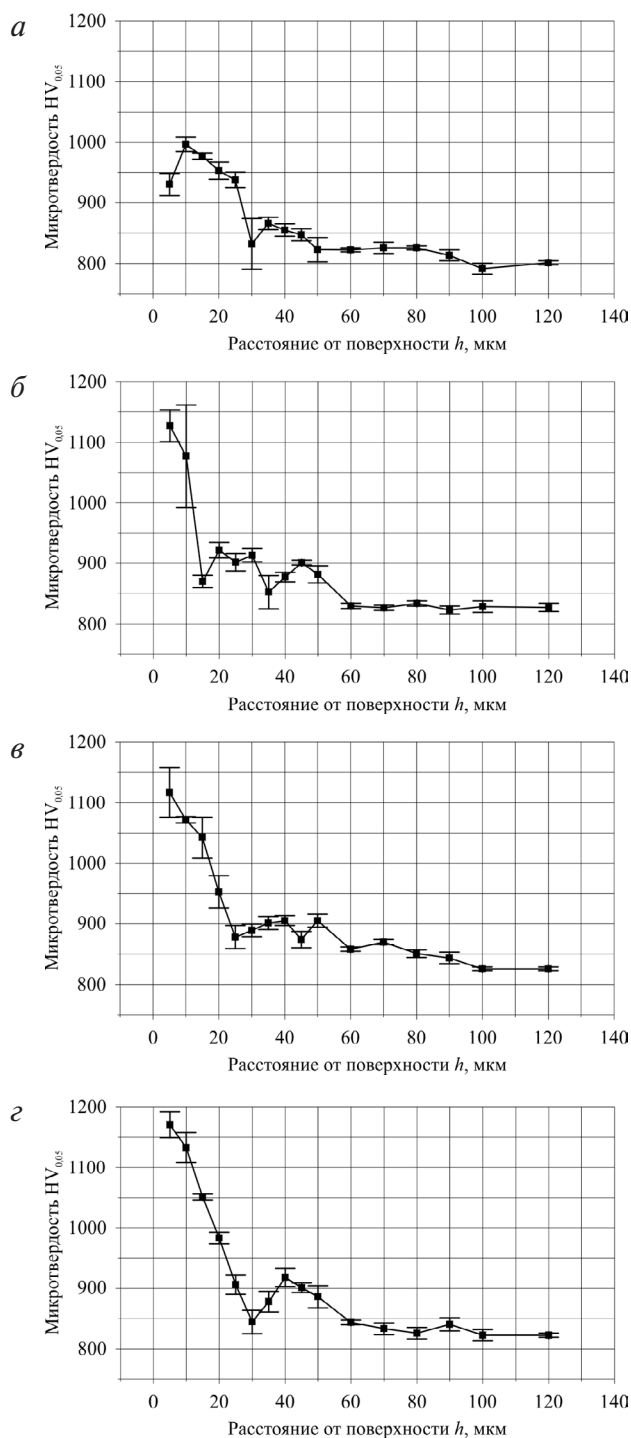


Рис. 3. Распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя образцов после выглаживания при различной нормальной силе

гом 10 мкм и далее с шагом 20 мкм. Измерения заканчивались по мере достижения микротвердости исходной матрицы материала. Значения микротвердости определены как среднее арифметическое из 5 последовательных вдавливания пирамидки на одинаковом расстоянии от поверхности.

Полученные результаты показывают, что формирование слоя с микротвердостью более 1000  $HV_{0.05}$  обеспечивается при нормальной силе более 150 Н. В случае выглаживания с силой 100 Н, микротвердость достигает значений близких к 1000  $HV_{0.05}$  на расстоянии 10 мкм от поверхности и не превышает указанный уровень (рис. 3, а). При выглаживании с силой 150 Н и 200 Н, максимальная микротвердость повышается до 1125  $HV_{0.05}$ , а уровень более 1000  $HV_{0.05}$  обеспечивается в слое толщиной порядка 12 мкм и 18 мкм соответственно (рис. 3, б и в). Повышение нормальной силы до 250 Н способствует увеличению максималь-

ной микротвердости на поверхности до 1180 HV<sub>0,05</sub> (рис. 3, з). При этом уровень более 1000 HV<sub>0,05</sub> обеспечивается в слое толщиной 20 мкм.

Можно сделать вывод, что выглаживание клиновым цилиндрическим инструментом является эффективным методом наноструктурирования поверхностного слоя подшипниковой стали. Установлено, что с повышением нормальной силы до 250 Н происходит увеличение толщины наноструктурированного слоя до 20 мкм и максимальной микротвердости поверхности до 1180 HV<sub>0,05</sub>.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кузнецов В. П., Горгоц В. Г., Скоробогатов А. С. Финишная технология наноструктурирующего выглаживания поверхностных слоев при обработке деталей машиностроения на многоцелевых станках // Нанотехника. 2014. № 2. С. 86–89.
- 2 Кузнецов В. П. Теоретическое обоснование и реализация наноструктурирующего выглаживания при обработке прецизионных деталей из конструкционных сталей : дис. ... д-ра техн. наук / КГУ. Казань, 2013. 341 с.
- 3 Sundaram N. K., Guo Y., Chandrasekar S. Mesoscale Folding, Instability, and Disruption of Laminar Flow in Metal Surfaces // Physical Review Letters. 2012. V. 109. № 10. (106001).
- 4 Formation of Nanocrystallized Structure in Worn Surface Layer of T10 Steel against 20CrMnTi Steel during Dry Rubbing / X. Wang [et. al] // Journal of Nanomaterials. 2016. V. 2016. P. 1–6.